

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 8 月 19 日現在

機関番号：37501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500513

研究課題名(和文)人体デジタルモデルを用いた救急医療迅速化のための傷害予測手法の開発

研究課題名(英文) Injury Prediction for Emergency Rescue using Digital Human Models

研究代表者

宇治橋 貞幸 (UJIHASHI, SADAYUKI)

日本文理大学・工学部・その他

研究者番号：80016675

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、乗員と車両のデジタルモデルを用いて様々な衝突条件の前面衝突すなわちオーバーラップ率、衝突角度、衝突対象物などを変化させた条件のもとで多くのシミュレーションを行って傷害データベースを作製し、傷害予測を行うことを試みた。この際、傷害の予測精度を向上させるために、車両の衝突加速度に基づいてこれを分類し、それぞれのカテゴリー別に傷害予測式を構築することにより、精度を向上させることに成功した。その結果は、前面衝突について導かれた結果であるが、他の側面衝突あるいは後面衝突などの衝突形態においても、本研究で得られた考え方は有効であると考えている。

研究成果の概要(英文)：Injury prediction based on data from in-vehicle devices, known as AACN, is expected to reduce trauma deaths. The existing prediction method developed by statistical analysis of the accident database used delta-V as the factor.

However, crash pattern such as wrap-ratio should be considered, as it also affects injury outcomes. Numerical simulations of various frontal crashes with vehicle and occupant dummy models were performed. The results were classified into seven categories based on waveform of vehicle acceleration by cluster analysis, and prediction equations were developed as function of delta-V and the category. It was revealed that delta-V and the category could represent the acceleration features, and compartment intrusion depended on the category. The equations were significantly different among the categories and predicted well dummy's injuries in tests. Thus, this study suggested a method to develop injury prediction equations with two factors for accurate and immediate AACN.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：交通事故 自動車乗員 傷害予測 衝突事故 人体デジタルモデル 有限要素法

1. 研究開始当初の背景

日本における交通事故の死者数は、様々な施策が功を奏して順調に減少を続け、2009年以降は5,000人を下回ってきている。政府の第9次交通安全基本計画では2015年までに死者数を3,000人以下とする目標を掲げている。この目標を達成するための方策の一つとして、事故が発生した後の救急救命医療の迅速化が挙げられている。そのためには、交通事故発生と同時に事故情報を入手し、それにより被害者の傷害の内容や程度を予測し、適切な救急救命体制を整えることが重要である。この傷害予測のための手法には、いくつかの方法が考えられるが、日本における交通事故とその被害者に関するデータの整備状況を勘案すると、乗員と車両のデジタルモデルを用いて仮想の交通事故シミュレーションを行って乗員の傷害データベースを構築し、これから傷害予測式を導出する方法が実現性の高い方法と考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、人体のデジタルモデルを用いて仮想的な事故を大量で網羅的に想定したシミュレーションを行い、受傷すると思われる外傷の内容とレベルを解析し、傷害データベースを構築するという方法を考案した。この方法では、実際の事故情報を収集することなく比較的短期間に傷害データベースを構築する事が出来るのが最大の利点であり、傷害予測手法の確立が可能になる。一方で、結果の検証が重要であり、実際の事故情報を用いてシミュレーション結果の信憑性の確認を行うことも不可欠である。

3. 研究の方法

交通事故には、衝突面・単独・車対車など様々な形態があるが、本研究では、事故形態の多い前面衝突から側面衝突までの全方位衝突を対象とすることにし、車種は国内販売実績の高いものとし、衝突速度は最大毎時80kmとする。車両の型式・乗員とその着

座状況・衝突速度や方向などの事故内容を入力すると瞬時に傷害の内容と程度に関する予測結果が得られる「傷害予測式」を導出する。同時に傷害予測精度を向上させるために、車両の衝突加速度により分類し、それぞれのカテゴリ別に傷害予測式を構築し、精度を向上させる手法を採用した。

4. 研究成果

4.1 車両加速度波形の分類

(1) 車両有限要素モデルによる前面衝突解析

前面衝突事故において乗員が受ける荷重を求めるために、車両の有限要素モデルを用いたシミュレーションにより車両加速度や車室変形を求めた。

) 車両有限要素モデルと前面衝突シミュレーションモデル

車両モデルには、軽自動車(長さ:3.29m、幅:1.48m、高さ:1.54m、重量:935.8kgf)のモデルを用いた。モデルは、373,528節点、371,052要素であり、全体の97.3%はシェル要素である。ドライバー席は右側となっている。前面衝突の種類は、フルラップ、オフセット、斜め、ポール、アンダーライドの5種類とし、バリアーはそれぞれ、FFB (full frontal rigid barrier)、ODB (offset deformable barrier)、OBL (oblique rigid barrier)、POL (rigid pole barrier)、UND (under-ride to rigid barrier)である。シミュレーションにおける衝突速度は10で、各種パラメータは表1のとおりである。車両の前後方向加速度の時刻歴は、右側サイドシルとBピラーとの交点に配置された加速度センサーにより取得された。現在用いられている傷害予測手法では、車両前後方向の速度差Vだけが用いられているので、本研究においても、この方向だけの加速度波形に注目して加速度波形の特徴点を捉えて分類することを試み、その分類に基づいて傷害予測を行い、精度を向上させることとした。Vは、加速度波形を積分して最大値と最小値の差

により求め、乗員脚部の傷害に繋がる車室変形は、ブレーキペダルの変位量によって代表することとし、有限要素解析の結果から求めた。傷害予測の車室変形については、他の因子すなわち加速度センサーなどから事故時に取得されるパラメータとは違うので、別に扱うこととした。すなわち、ブレーキペダルはドライバー脚部の近くにあるので、変位量は直接脚部に作用する外力として考慮することとした。車両有限要素モデルを用いたシミュレーションにおいては、表1の通り、実験による衝突条件と同じにした。

）前面衝突シミュレーション

五つの衝突モデルに対して全部で56通りの前面衝突シミュレーションを行った。衝突条件は、表2に示す通りあらゆる事故条件をカバーするように決定した。Vの値は、重度な傷害を起こす場合を想定しているため、それに見合う数値とした。シミュレーションの結果は、各種パラメータに依存しており、例えば、FFBの加速度波形は、ODBに比べて全てにおいて、値は大きく持続時間は短くなっている。UNDを除く全てにおいて、加速度波形に二つのフェーズがある。すなわち、衝突直後に比較的小さな加速度が現れ、その後大きな加速度が長く持続している。これに対して、UNDでは後者の応答だけが現れている。車室変形を代表するブレーキペダルは、後方すなわちドライバー方向に変形した後に少しだけ戻っており、波形は車両加速度と相関が見られる。衝突パラメータが同じ場合は、加速度は衝突速度が上がると大きくなっている。加速度波形は、基本的にクラッシュゾーンである車両前部の剛性に影響を受けると考えられる。前面衝突においては、まずサイドメンバーを主にエネルギー吸収がなされ、そこで吸収されなかった残余のエネルギーにより車室変形が引き起こされる。言うまでもなく、FFBはODBよりも剛性が高く、左右のサイドメンバーがエネルギー吸収に

関与するので、大きな加速度が現れる。これに対してUNDではサイドメンバーはエネルギー吸収に関与しないので、加速度波形は大きく異なったものとなる。車両各部の変形が全体の車両加速度波形そのものを特徴付けることになり、車室変形はその加速度波形によって影響を受ける。加速度波形は、衝突速度があまり高くない範囲においては衝突速度の影響は小さく、車両の様々な構造によって影響を受ける。

(2) クラスタ解析による加速度波形の分類

乗員の傷害に及ぼす加速度の影響を調べるために、車両加速度波形により前面衝突のタイプを分類することを試みた。本研究における傷害予測は、外見からのクラッシュパターンではなく、車両内部に取り付けられたセンサーから取得される外力によって予測するものである。

）シミュレーションによる前面衝突のクラスタリング

階層クラスタ解析は、シミュレーションによる車両加速度波形に基づき前面衝突を分類するために行った。シミュレーションでは、加速度波形には衝突速度の大きさは大きな影響はなかったため、加速度波形はVで除し、波形の影響について調べることにした。正規化した加速度波形はミリ秒毎にデジタル化し、150次元のベクトルとして表現した。そのベクトルのユークリッド二乗距離を指標として用い、式(1)のように表現した。

$$d_{ab} = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_{ia} - x_{ib})^2}$$
$$x_a = (x_{1a}, x_{2a}, x_{3a}, \dots, x_{pa})$$
$$x_b = (x_{1b}, x_{2b}, x_{3b}, \dots, x_{pb}) \quad (1)$$

衝突シミュレーションから得られた56ケースの結果は、クラスタ解析によりグループ化した。ここで用いられた不一致度を表す指標で、デジタル化された加速度波形のベクトルのユークリッド二乗距離である。クラスタリングのプロセスによる7カテゴリーに

においては同じクラッシュパターンを有するものが同じグループとして分類されている。

）車両加速度波形の分類とその特徴

車両加速度の代表的な波形は、それぞれのカテゴリーにおけるクラッシュのベクトルを平均化することにより得られた。7カテゴリーにおいては、平均化された波形は、それぞれ顕著に違いが表れている。加速度応答と相関のある車室変形では、 V と変形の特徴点はシミュレーションの結果から求められている。したがって、車室変形は車両加速度との相関によって決定されている。7カテゴリーは、それぞれの特徴を良く捉えおり、カテゴリー#1、#4、#3および#2はフルラップからスモールラップまでの前面衝突を表している。また、#5はアンダーライドを、#6および#7は剛な対象物に対するニアサイド高速衝突を表している。#1はPOLへの前面衝突を含んでいるが、これは衝突形態が異なっても加速度波形が類似しているからである。ここで得られた7カテゴリーは、実際の事故においても有効であるかの検証が求められることになる。

4.2 前面衝突における傷害予測

(1) 乗員マルチボディモデルによる傷害解析

ここでは、傷害を予測するために乗員のマルチボディモデルと車両の有限要素モデルを用いて、様々なタイプの前面衝突シミュレーションを行った。そして、クラッシュのそれぞれのカテゴリーおよび加速度波形の形と大きさすなわち V が傷害に及ぼす影響を明らかにした。

）ドライバーマルチボディモデルと傷害シミュレーションモデル

乗員の詳細な傷害解析には、有限要素人体モデルが用いられることが多いが、ここでのシミュレーションにおいては非常に多くの条件のもとでの計算が必要なため、負荷を軽減するためにマルチボディモデルを用いることとした。実験で用いられているダミーに

合わせて、マルチボディモデルには、Hybrid

50th percentile dummy を用いた。傷害シミュレーションモデルには、キャビン・ドライバー・シートが含まれ、キャビンにはステアリング・インストルメントパネル・窓ガラス・シートベルト・エアバッグなどが含まれている。ダミーの着座位置と姿勢はそれぞれの設計標準値とした。ドライバーの年齢や性に関しては、ここでは考慮しないことにし、傷害予測が実用段階になったときに考慮すれば良いとの立場に立っている。

車両の進行方向併進加速度は右側のサイドシルに取り付けられているセンサーにより検出される。車室変形は左右のトウボードの変形によって与えられている。車両進行方向以外の方向の加速度成分に関しては、その影響は限定的であるので、ここでは考慮していない。一方、エアバッグの展開タイミングやシートベルトのプリテンションは傷害に影響が大きかった。傷害値としては、一般に用いられている頭部傷害値 HIC、胸たわみ、大腿骨への圧縮荷重などである。この傷害シミュレーションモデルは、車両加速度と発生しうる傷害との関係を明確に表現可能である。ダミーから得られる傷害値は、シミュレーション結果と比較し、傷害と V との関係は衝突形態によって異なっている。

）様々な前面衝突における傷害シミュレーション

7カテゴリーの傷害シミュレーションは、 V が 10 から 25m/s の範囲で行った。AACN における傷害の予測においては、重度な傷害を予測することが重要であるので、速度域は重度な傷害の発生領域を含んでいなければならない。乗員の体節の応答と傷害値は衝突カテゴリーと V に依存している。頭部加速度、胸たわみ、大腿荷重は、#1と#5において急速に上昇し、#2においては遅れている。一方で、最大値は#6と#7においては発生している。頭部加速度が鋭いピークを示

しているのは、エアバッグが潰れて頭部がステアリングに衝突している場合である。大腿荷重は緩やかに大きくなるのに対し、頭部傷害値と最大胸たわみは急速に V の閾値 V_{thr} より大きくなっていく。傷害と V の関係は最小二乗法により次式のように与えられている。

$$Injury = a_0 + a_1 \cdot V \quad (V < V_{thr})$$

$$Injury = a_0 + \exp(a_1 \cdot V) \quad (V > V_{thr}) \quad (2)$$

傷害シミュレーションの結果は、車両加速度の大きさと波形に依存していることを示している。応答と傷害は、車両加速度がゆっくりと立ち上がり大きな値に達する場合に大きくなっていく。一方、車両加速度が早く立ち上がると乗員拘束装置が早く作動するようになる。車室変形は、下肢傷害に大きく関係するが、変形が最も大きいときに重篤になるとは限らない。このことは、車室変形をブレーキペダルの変形で表していること限界であろう。

(2) 傷害予測式の導出と検証

各部位の傷害は車両加速度の波形と大きさに依存し、傷害と V との関係が明らかになった。実際の AACN においては、傷害の予測結果が事故発生後、瞬時に医療関係者に提供されなければならない。そのためには、傷害予測式を構築しておく必要がある。ここでは傷害予測式を V と傷害リスクカーブとを組み合わせることで導出することとし、各傷害値と発生確率との関係が求められることになる。

シミュレーション結果と傷害リスクカーブに基づく傷害予測式

頭部・胸部・下肢それぞれについて求められている傷害リスクカーブに基づいて傷害予測式を求めることにした。衝突カテゴリー毎に傷害予測式が大きく異なっているが、このことは V だけから傷害予測を行う従来の方法では、十分な精度が得られないことを示唆しており、たとえば本研究のような車両加速度の分類によって複数の予測式を考えな

ければならないことを意味していると思われる。具体的には車室変形が無視できないような場合は V だけでは非常に困難であると思われる。この他にもシートベルトや年齢なども無視できない。

衝突試験の結果と傷害予測式の比較

求められた傷害予測式の検証は、各衝突カテゴリーにおける AIS 3+ 発生確率と V とを比較する事により行われた。各試験の AIS 3+ の確率は、Hybrid 50thile ダミーにより計測された傷害値をリスクカーブに参照することによって求められた。傷害予測式から得られるカーブは V の大きさと良く相関があり、胸部傷害はやや過大評価されている。下肢傷害は発生確率が低くなっている。すなわち車両加速度を考慮することが傷害を予測する上で、非常に有効であったことが明らかになった。

4.3 まとめ

乗員と車両のデジタルモデルを用いて様々な衝突条件の前面衝突すなわちオーバーラップ率、衝突角度、衝突対象物などを变化させた条件のもとで多くのシミュレーションを行って傷害データベースを作製し、傷害予測を行うことを試みた。この際、傷害の予測精度を向上させるために、車両の衝突加速度に基づいてこれを分類し、それぞれのカテゴリー別に傷害予測式を構築することにより、精度を向上させることに成功した。

Table 1. Test configurations for validation of the frontal crash simulation models

Crash Parameters	10 [km/h]
FFB	- 24, 50, 55
ODB	r=40% (near-side) 56, 64
OBL	=30 o (far-side) 48
POL	p=50% (centre), =360 mm 40
UND	- 32

Table 2. Parameters in the frontal crash simulations

Parameter Level Value

V_0 [km/h] 2 50, 65

r [%] 11 100, far/near-side 25, 40, 55, 70, 85

[θ] 6 far/near-side 15, 30, 45

p [%] 3 70:far-side, 50:center, 30:near-side

[mm] 3 180, 270, 360

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計5件)

Maika Katagiri, Yusuke Miyazaki, Sadayuki Ujihashi, Takashi Fukaya, Keiichi Ito, Hiroyuki Suzuki and Toshiro Okuyama, Injury prediction based on classifications of vehicle acceleration waveforms in frontal crashes, International Journal of Crashworthiness, 査読有, Vol.10 (2014), pp.1-10.

Maika Katagiri, Yusuke Miyazaki, Jonas Pramudita and Sadayuki Ujihashi Development of occupant injury prediction algorithms for advanced automatic collision notification by numerical crash reconstructions, 査読有, ESV2013, Paper Number 13-0149

Katagiri, M., Tsubouchi, H., Ujihashi, S., Fukaya, T., Awano, M., Ito, K., Estimation of Vehicle Deformation based on Acceleration from Event Data Recorder, Proceedings of the 6th International Conference on Coupled Instabilities in Metal Structures (CIMS), 査読有, pp.383-390, 2012

Katagiri, M., Tsubouchi, H., Ujihashi, S., Fukaya, T., Awano, M., Ito, K., Suzuki, H., Okuyama, T., Classification of Crash

Pattern Based on Vehicle Acceleration and Prediction Algorithm for Occupant Injury, International Journal of Society of Automotive Engineers, 査読有, No.10 (2013), pp.9-16.

Maika KATAGIRI, Kenta KATAGATA, Jonas A. PRAMUDITA and Sadayuki UJIHASHI, Development and Application of Stress-Based Skull Fracture Criteria Using a Head Finite Element Model, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 査読有, Vol.7, No.4 (2012), pp.449-462.

[学会発表](計3件)

内田忠宏、宮崎祐介、三浦祐司、宇治橋貞幸、深谷敬、堂免弘樹、奥山敏郎、前田雅史、車載センサデータに基づく事故時の車体変形判別手法の構築、自動車技術会2014春季学術講演会

片桐麻衣佳、宮崎祐介、宇治橋貞幸、深谷敬、伊藤敬一、鈴木祐之、奥山敏郎、前面衝突時の車両加速度波形の分類に基づく傷害予測、自動車技術会2013春季学術講演会

片桐麻衣佳、宇治橋貞幸、車両加速度波形による衝突形態判別と乗員傷害予測アルゴリズム、自動車技術会春季学術講演会前刷集, No. 1-12, pp.13-16, 2012

[図書](計0件)

[産業財産権]
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1)研究代表者

宇治橋貞幸 (UJIHASHI, Sadayuki)
日本文理大学・工学部・特任教授
研究者番号: 80016675